

В. В. Числавлев, С. В. Фейлер
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный
индустриальный университет»,
г. Новокузнецк
e-mail: chisl.vv@yandex.ru

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИКИ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

Разработан лабораторно-экспериментальный комплекс для исследования гидродинамических процессов в четырехручьевом промежуточном ковше блюмовой машины непрерывного литья заготовок. Проведены лабораторные эксперименты и выполнен анализ результатов физического моделирования.

Ключевые слова: физическое моделирование, непрерывная разливка стали, промежуточный ковш, неметаллические включения, рельсовая сталь.

Designed laboratory experimental complex for the study of hydrodynamic processes in the four streams tundish bloom continuous casting machine. The laboratory experiments and the analysis of the results of physical modeling.

Keywords: physical modeling, continuous casting, tundish, nonmetallic inclusions, rail steel.

Непрерывная разливка стали является наиболее эффективной ресурсо- и энергосберегающей технологией завершающего этапа сталеплавильного производства. Одной из основных задач непрерывной разливки является повышение качества непрерывнолитой заготовки, что может быть достигнуто при расширении функциональных возможностей промежуточного ковша за счет рафинирования металла от неметаллических включений и регулирования температурного режима [1], что приобретает особую значимость при разливке рельсовой стали.

На ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» разливка рельсовой стали осуществляется на реконструированной в 2012 г. четырехручьевой блюмовой машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Для производства высококачественных заготовок сечением 300×360 мм МНЛЗ оборудована системами электромагнитного перемешивания и мягкого обжата. Тем не менее задача обеспечения чистоты непрерывнолитых заготовок по неметаллическим включениям остается актуальной [2] и может быть решена за счет организации движения потоков металла в промежуточном ковше.

Поскольку промышленный эксперимент при исследовании металлургических процессов в промежуточном ковше (рис. 1) сопряжен с рядом трудностей (большие затраты на испытания, невозможность визуализации характерных стадий процесса, сложность измерения значений физических величин), в настоящее время для экспериментальных исследований сложных, высокоскоростных технологических процессов в многофазных системах, при экстремальных значениях температуры и давления, активно используются методы физического моделирования [3]. Лабораторные условия позволяют полно и всесторонне изучать физические явления и процессы, поскольку имеется возможность варьировать разнообразными факторами в широких пределах, а также наблюдать, фиксировать и воспроизводить исследуемый процесс. Результаты лабораторных экспериментов на гидравлических моделях могут использоваться для усовершенствования конструкции промежуточного ковша на металлургическом предприятии.

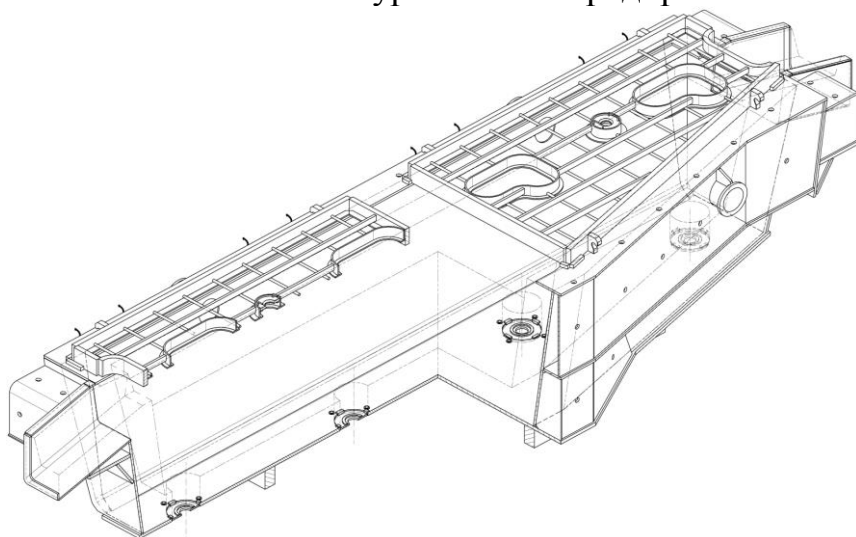


Рис. 1. Конструкция промежуточного ковша блюмовой МНЛЗ
ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Для проведения исследований гидродинамических процессов был разработан лабораторный комплекс, включающий физическую модель 28-т промежуточного ковша блюмовой МНЛЗ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», а также регулируемую и измерительную аппаратуру. Предварительно выполненный анализ критериев подобия позволил определить конструктивные и технологические характеристики модели (табл. 1), в соответствии с которыми обеспечивалось геометрическое, кинематическое и динамическое подобие исследуемых процессов. Модель промежуточного ковша изготовлена в масштабе 1:2,5 из прозрачного, светопроницаемого материала (органического стекла), позволяющего наглядно исследовать гидродинамические процессы, протекающие в нем.

Таблица 1

Конструктивные и технологические параметры объекта и модели
промежуточного ковша

Параметр	Промежуточный ковш	
	Объект	Модель
Длина донной части, мм	5525	2210
Длина верхней кромки, мм	5835	2334
Ширина донной части, мм	1148,41	459,36
Ширина верхней кромки, мм	1302,6	521,04
Рабочий уровень, мм	900	360
Уровень перелива, мм	950	380
Расстояние между осями стопоров, мм	1700	680
Внутренний диаметр защитной трубы, мм	65	26
Скорость подачи жидкости в промежуточный ковш, м ³ /мин.	0,043–0,086	0,004–0,008
Количество ручьев	4	
Масштабы: линейный, M_l	2,5	
скоростной, M_v	1,58	
расходный, M_Q	9,88	
временной, M_t	1,58	

В качестве моделирующей жидкости в лабораторной установке используется вода, физические свойства которой близки свойствам жидкой стали при температурах разлива [4]. Визуализация потоков жидкости осуществляется вводом индикатора. Для определения скоростей потоков моделирующей жидкости на заднюю стенку модели нанесена координатная сетка с размером клетки 5 см. Перемещение границы подкрашенной жидкости на фоне координатной сетки регистрируется цифровой видеокамерой. Моделирование движения металла проводили для условий разлива блюмовой заготовки со скоростью 0,7 м/мин. Результаты физического моделирования представлены на рис. 2, на котором видно, что в центральной части под действием напора вертикальной струи, поступающей из сталеразливочного ковша в промежуточный через защитную трубу, наблюдается возникновение высокоскоростных придонных потоков. На 2-й секунде поток моделирующей жидкости достигает центральных разливочных стаканов (рис. 2, б). При движении к периферийным разливочным стаканам происходит снижение скорости потоков. Поток моделирующей жидкости достигает периферийных разливочных стаканов на 51-й секунде после подачи индикатора. В зоне периферийных стопоров и торцевых стенок наблюдается наличие застойных зон, что в реальных условиях способствует температурной и химической неоднородности металлического расплава.

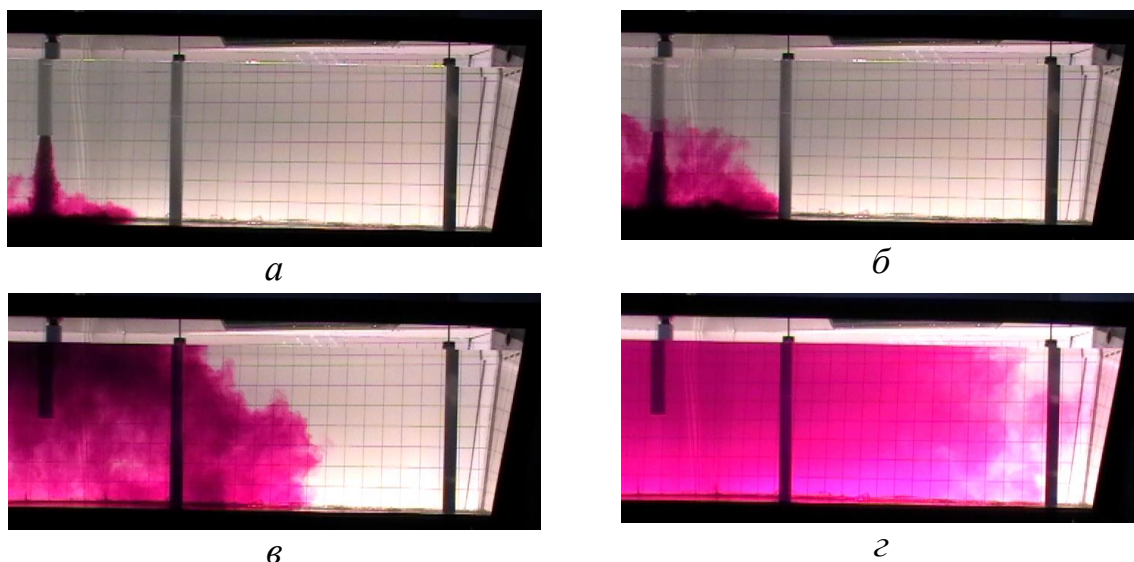


Рис. 2. Гидродинамическая картина в модели промежуточном ковше:
 а – через 1 с; б – через 2 с; в – через 8 с; г – через 51 с

Таким образом, анализ результатов физического моделирования позволяет сделать вывод о том, что конструкция промежуточного ковша с единой ванной не является оптимальной при обеспечении гомогенизации металлического расплава по химическому составу и температуре, а также рафинирования металлического расплава от неметаллических включений и требуется применение дополнительных специальных устройств для организации движения потоков металла и создания зон активной циркуляции расплава.

Список литературы

1. Протопопов Е. В. Численное моделирование гидродинамики металла в промежуточном ковше слябовой МНЛЗ / Е. В. Протопопов, С. В. Фейлер, В. П. Комшуков и др. // Вестн. горно-металлург. секции РАЕН. Отделение металлургии. М.-Новокузнецк, 2008. Вып. 22. С. 65–73.
2. Симачёв А. С. Влияние неметаллических включений непрерывнолитой заготовки рельсовой стали Э76Ф на высокотемпературную пластичность / А. С. Симачёв, Т. Н. Осколкова // Металлургия: технологии, управление, инновации, качество : труды XVIII Всерос. науч.-практ. конф. Новокузнецк: СибГИУ, 2014. С. 156–159.
3. Смирнов А. Н. Непрерывная разливка сортовой заготовки : монография / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, А. Л. Подкорытов и др. Донецк: Цифровая типография, 2012. 417 с.
4. Mazumdar D. Modeling of steelmaking processes / D. Mazumdar, J. W. Evans Boca Raton, London, New York: CRS Press, Taylor and Francis Group, 2010. 463 p.